



Волгоградский государственный  
социально-педагогический университет

# Задачи атомной и ядерной физики, астрономии



Глазов Сергей Юрьевич, доктор  
физико-математических наук,  
профессор, кафедра высшей  
математики и физики ВГСПУ

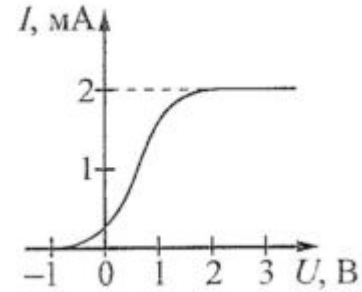
15 мая 2021 г

# Квантовая физика. Кодификатор 2021

5 КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ЭЛЕМЕНТЫ АСТРОФИЗИКИ		5.2 ФИЗИКА АТОМА	
5.1 КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ		5.2.1	Планетарная модель атома
5.1.1	Гипотеза М. Планка о квантах. Формула Планка: $E = h\nu$	5.2.2	Постулаты Бора. Излучение и поглощение фотонов при переходе атома с одного уровня энергии на другой: $h\nu_{mn} = \frac{hc}{\lambda_{mn}} =  E_n - E_m $
5.1.2	Фотоны. Энергия фотона: $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = pc$ Импульс фотона: $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$	5.2.3	Линейчатые спектры. Спектр уровней энергии атома водорода: $E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}, n = 1, 2, 3,$
5.1.3	Фотоэффект. Опыты А.Г. Столетова. Законы фотоэффекта	5.2.4	Лазер
5.1.4	Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $E_{\text{фотона}} = A_{\text{выхода}} + E_{\text{кин макс}}$ , где $E_{\text{фотона}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ , $A_{\text{выхода}} = h\nu_{\text{кр}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}$ , $E_{\text{кин макс}} = \frac{mv_{\text{макс}}^2}{2} = eU_{\text{эл}}$	5.3 ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА	
5.1.5	Волновые свойства частиц. Волны де Бройля. Длина волны де Бройля движущейся частицы: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ Корпускулярно-волновой дуализм. Дифракция электронов на кристаллах	5.3.1	Нуклонная модель ядра Гейзенберга – Иваненко. Заряд ядра. Массовое число ядра. Изотопы
5.1.6	Давление света. Давление света на полностью отражающую поверхность и на полностью поглощающую поверхность	5.3.2	Энергия связи нуклонов в ядре. Ядерные силы
		5.3.3	Дефект массы ядра ${}^A_Z\text{X}$ : $\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{ядра}}$
		5.3.4	Радиоактивность. Альфа-распад: ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$ Бета-распад. Электронный $\beta$ -распад: ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}e + \tilde{\nu}_e$ Позитронный $\beta$ -распад: ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}\tilde{e} + \nu_e$ Гамма-излучение
		5.3.5	Закон радиоактивного распада: $N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$
		5.3.6	Ядерные реакции. Деление и синтез ядер

# Фотоэффект

- Задача: В опыте по изучению фотоэффекта монохроматическое излучение мощностью  $P = 0,2$  Вт падает на поверхность катода, в результате чего в цепи возникает ток. График зависимости силы тока  $I$  от напряжения  $U$  между анодом и катодом приведен на рисунке. Какова длина волны  $\lambda$  падающего света, если в среднем один из 35 фотонов, падающих на катод, выбивает электрон?



• Решение:

1. Сила тока  $I = q / t$ , где  $q$  – заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время  $t$ .
2. Когда ток в цепи достигает насыщения, все фотоэлектроны, выбитые из катода, достигают анода ( $I_{\max} = 2$  мА). Заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время  $t$  равен  $q = eN_e t$ ,  $e$  – модуль заряда электрона,  $N_e$  – количество фотоэлектронов, выбитых из катода за 1 с.
3. По условию задачи  $N_e = N_\phi / 35$ , где  $N_\phi$  – количество фотонов, падающих на катод за 1 с.
4. Энергия фотона  $E_\phi = h\nu = hc/\lambda$ . Мощность излучения  $P = W/t = N_\phi \cdot E_\phi = 35 I_{\max} hc/\lambda e$ .
5.  $\lambda = N_\phi \cdot E_\phi = 35 I_{\max} hc/Pe$

Ответ:  $\lambda \approx 433$  нм.

## Критерии оценивания выполнения задания

Баллы

Приведено полное решение, включающее следующие элементы:

I) Записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом ( в данном случае: определение силы тока; связь силы тока насыщения с количеством фотонов, падающих на катод в единицу времени; выражения для энергии фотона и мощности излучения);

II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин ( за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);

III) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);

IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины

3

Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков. Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объеме или отсутствуют.

И(ИЛИ)

В решении имеются лишние записи, не входящие в решение, которые не отделены от решения и не зачеркнуты.

И(ИЛИ)

В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.

И(ИЛИ)

Отсутствует пункт IV, или в нем допущена ошибка.

2

## Критерии оценивания выполнения задания

Баллы

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.

Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.

ИЛИ

В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.

ИЛИ

В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.

1

Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.

0

# Физика атомного ядра

- Задача: Сколько энергии выделяется при образовании гелия массой 10 г из дейтерия и трития в реакции  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$  если масса  $m({}^2_1\text{H}) = 2,01410$  а.е.м.,  $m({}^3_1\text{H}) = 3,01605$  а.е.м.,  $m({}^4_2\text{He}) = 4,0026$  а.е.м. и  $m({}^1_0\text{n}) = 1,00866$  а.е.м.?

- Решение:

1. Энергия, выделяемая при образовании одного ядра  $E_1 = \Delta mc^2$ .

$$\Delta m = m_{{}^2_1\text{H}} + m_{{}^3_1\text{H}} - (m_{{}^4_2\text{He}} + m_{{}^1_0\text{n}}) = 2,01410 + 3,01605 - (4,0026 + 1,00866) \approx 0,019 \text{ а.е.м}$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 931,5 \text{ МэВ}/c^2$$

$$E_1 = \Delta mc^2 = 0,019 \cdot 1,6606 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \approx 0,284 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} \quad \text{или} \quad E_1 = 0,019 \cdot 931,5 \approx 17,699 \text{ МэВ}$$

2. Число образовавшихся ядер гелия  $N = \frac{m}{M} N_A$

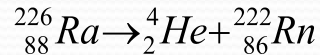
Ответ:  $E = N \cdot E_1 = 4,27 \cdot 10^{12} \text{ Дж} = 4,27 \text{ ТДж}$



# Физика атомного ядра

- Задача: При  $\alpha$ -распаде неподвижного ядра радия-226 образуется ядро радона-222. Какова скорость образовавшегося ядра радона?

- Решение:



1. Энергия, выделяемая при распаде  $E = \Delta mc^2$ .

$$\Delta m = (m_{\text{Ra}})_\text{я} - (m_{\text{Rn}})_\text{я} - (m_{\text{He}})_\text{я} = (m_{\text{Ra}} - 88m_e) - (m_{\text{Rn}} - 86m_e) - (m_{\text{He}} - 2m_e) \approx 2,53 \cdot 10^{-3} \text{ а.е.м}$$

2. Закон сохранения импульса

$$0 = \overset{\text{И}}{p}_{\text{He}} + \overset{\text{И}}{p}_{\text{Rn}}$$

$$0 = m_{\text{He}} v_{\text{He}} - m_{\text{Rn}} v_{\text{Rn}}$$

3. Закон сохранения энергии

$$\Delta mc^2 = \frac{m_{\text{He}} v_{\text{He}}^2}{2} + \frac{m_{\text{Rn}} v_{\text{Rn}}^2}{2}$$

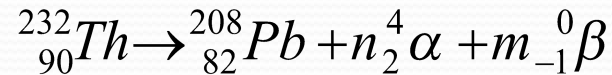
$$v_{\text{Rn}} = c \sqrt{\frac{2m_{\text{He}} \Delta m}{m_{\text{Rn}} (m_{\text{He}} + m_{\text{Rn}})}}$$

Ответ:  $1,9 \cdot 10^5 \text{ м/с} = 190 \text{ км/с}$

# Физика атомного ядра

- Задача: Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов должно произойти, чтобы ядро тория-232 превратилось в ядро изотопа свинца-208?

- Решение:



В любой ядерной реакции выполняются законы сохранения электрических зарядов и массовых чисел: сумма зарядов (и массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядов (и сумме массовых чисел) конечных продуктов (ядер и частиц) реакции.

1.  $232 = 208 + 4 \cdot n + 0 \cdot m$

2.  $90 = 82 + 2 \cdot n - 1 \cdot m$

**Ответ:**  $n = 6$ ,  $m = 4$ . Шесть  $\alpha$ -распадов и четыре  $\beta$ -распада.



# Физика атомного ядра

- Задача: Период полураспада радона составляет  $T = 3,7$  сут. Во сколько раз уменьшится радиоактивность радона за 2 сут.?

• Решение:

1. Число нераспавшихся (оставшихся) ядер убывает по закону  $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$

2. Уменьшение радиоактивности за время  $t$  равно  $\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}}$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\frac{t}{T} \ln 2; \quad \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \frac{t}{T} \ln 2; \quad \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = 0,3746$$

Ответ:  $\frac{N_0}{N} \approx 1,45$ ; уменьшится в 1,45 раза.

# Физика атомного ядра

- Задача: Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп  ${}_{11}^{24}\text{Na}$ . Активность  $1 \text{ см}^3$  этого раствора  $a_0 = 2000$  распадов в секунду. Период полураспада изотопа  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  равен  $T = 15,3$  ч. Через  $t = 3$  ч 50 мин активность  $1 \text{ см}^3$  крови пациента стала  $a = 0,28$  распадов в секунду. Каков объём введённого раствора, если общий объём крови пациента  $V = 6$  л? Переходом ядер изотопа из крови в другие ткани организма пренебречь.

• Решение:

1. Обозначим  $V_0$  – объём введенного раствора,  $V_1 = 1 \text{ см}^3$ .
2. Активность раствора  $a_n = a_0 V_0 / V_1$  сразу после введения в кровь пациента будет равна активности всего объема крови.
3. Активность  $1 \text{ см}^3$  крови  $a_1 = a_n V_1 / V = a_0 V_0 / V$ .
4. По закону радиоактивного распада по прошествии времени  $t$  активность  $1 \text{ см}^3$  крови станет равной  $a = a_1 2^{-\frac{t}{T}}$ ;  $a = a_0 \frac{V_0}{V} 2^{-\frac{t}{T}}$

Ответ:  $V_0 = V \frac{a}{a_0} 2^{\frac{t}{T}} \approx 1 \text{ см}^3$

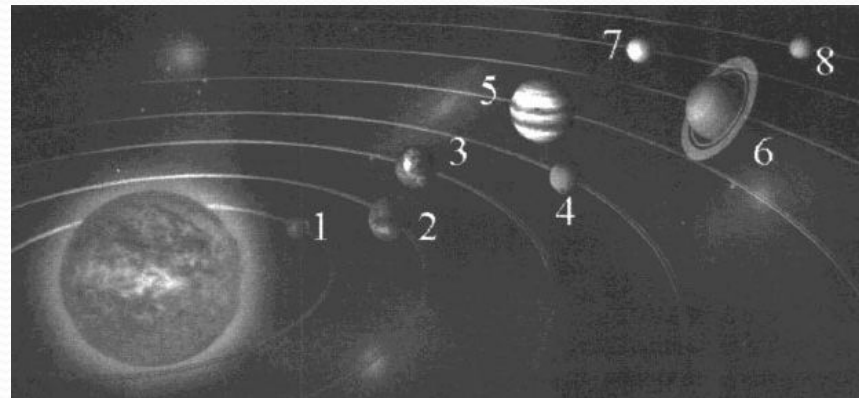
# Элементы астрофизики. Кодификатор 2021

5.4	<i>ЭЛЕМЕНТЫ АСТРОФИЗИКИ</i>
5.4.1	Солнечная система: планеты земной группы и планеты-гиганты, малые тела Солнечной системы
5.4.2	Звезды: разнообразие звездных характеристик и их закономерности. Источники энергии звезд
5.4.3	Современные представления о происхождении и эволюции Солнца и звезд
5.4.4	Наша Галактика. Другие галактики. Пространственные масштабы наблюдаемой Вселенной
5.4.5	Современные взгляды на строение и эволюцию Вселенной

# Элементы астрофизики

- Задача: На рисунке приведено схематическое изображение солнечной системы. Планеты на этом рисунке обозначены цифрами. Выберите из приведенных ниже утверждений два верных, и укажите их номера.
- 1) Планетой 2 является Венера.
- 2) Планета 5 относится к планетам земной группы.
- 3) Планета 3 имеет 1 спутник.
- 4) Планета 5 не имеет спутников.
- 5) Атмосфера планеты 1 состоит, в основном, из углекислого газа.

- Решение:



Цифрами на рисунке обозначены:

1) Меркурий, 2) Венера, 3) Земля, 4) Марс, 5) Юпитер, 6) Сатурн, 7) Уран, 8) Нептун.

- 1) Утверждение 1 *верно*.
- 2) К планетам земной группы относятся Меркурий, Венера, Земля и Марс. Юпитер — планета-гигант. Утверждение 2 *неверно*.
- 3) Земля имеет один спутник — Луну. Утверждение 3 *верно*.
- 4) На данный момент у Юпитера известно 79 спутников. Утверждение 4 *неверно*.
- 5) Меркурий практически лишён атмосферы. Утверждение 5 *неверно*.

# Элементы астрофизики

- Задача: Гелиоцентрический годичный параллакс некоторой звезды равен  $0,00625''$ . Выберите из приведённых вариантов расстояния до этой звезды все правильные.
- Примечание: параллакс — это наблюдаемая характеристика звезды:
- 1) 160 световых лет
- 2) 160 парсек
- 3) 160 астрономических единиц
- 4) 49 парсек
- 5) 522 световых года

$$\pi'' = \frac{1}{d(\text{пк})}$$

- Решение:

1. Величина годичного параллакса данной звезды равна углу, под которым большая полуось земной орбиты видна с расстояния этой звезды. Ввиду огромных расстояний до звёзд годичные параллаксы даже у ближайших из них не превосходят одной секунды дуги.

2. Парсек — внесистемная единица измерения расстояний в астрономии, равная расстоянию до объекта, годичный тригонометрический параллакс которого равен одной угловой секунде.

$$1 \text{ пк} = 3,09 \cdot 10^{13} \text{ км} = 3,26 \text{ св.год.}$$

Найдём по приведённой формуле расстояние до звезды в парсеках

Ответ: 25

$$d = \frac{1}{\pi''} = \frac{1}{0,00625''} = 160 \text{ пк} = 522 \text{ св.года}$$

# Элементы астрофизики

- Задача: Спутник Земли движется по круговой орбите. Его кинетическая энергия  $E_k$ . Чему равна его потенциальная энергия?

• Решение:

1. Спутник движется по окружности под действием силы гравитационного взаимодействия. Запишем 2-й закон Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}_g \quad m \frac{v^2}{r} = \frac{GmM}{r^2} \quad (1)$$

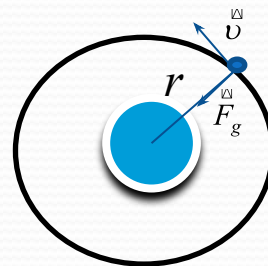
2. Кинетическая энергия

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

3. Потенциальная энергия

$$E_n = -\frac{GmM}{r} \quad (3)$$

Ответ:  $E_n = -2E_k$



# Элементы астрофизики

- Задача: Какую работу должен совершить двигатель космического аппарата массой  $m = 2 \cdot 10^3$  кг, чтобы перевести его с орбиты радиуса  $r_1 = 10^4$  км на орбиту радиуса  $r_2 = 2 \cdot 10^4$  км?

- Решение:

1. Аппарат движется по окружности под действием силы гравитационного взаимодействия. Из предыдущей задачи  $E_{\text{п}} = -2E_{\text{к}}$

2. Полная энергия

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = -E_{\text{к}} = E_{\text{п}} / 2 \quad (1)$$

3. Закон изменения полной механической энергии

$$E_1 + A = E_2 \quad (2)$$

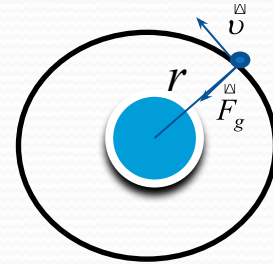
4. Потенциальная энергия

$$E_{\text{п}} = -\frac{GmM}{r} \quad (3)$$

5. У поверхности Земли

$$mg = \frac{GmM}{R_3^2} \quad (4)$$

Ответ:  $A = \frac{mg}{2} R_3^2 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = 2 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$





# Спасибо за внимание!

## ЕГЭ

- Кабардин О.Ф. Физика: справочник для школьников и поступающих в вузы. Курс подготовки к ГИА, ЕГЭ и дополнительным вступ. испытаниям в вузы – М.: Арт-пресс школа, 2019. – 528 с.
- Демидова М.Ю. ЕГЭ 2020. Банк заданий. 1000 задач. – М.: Изд. “Экзамен”, 2020. – 430 с.
- Кабардин О.Ф. Физика. Подготовка к ЕГЭ. Вступительные испытания.–М.: Изд.“Экзамен”, 2011.– 477 с.
- Турчина Н.В. и др. 3800 задач по физике для школьников и поступающих в ВУЗы. – М.: Дрофа, 2000. – 672 с.
- Вишнякова Е.А. и др. Отличник ЕГЭ. Физика. Решение сложных задач. М.: Интеллект-Центр, 2010.– 368 с.
- Парфентьева Н.А. Задачи по физике для поступающих в вузы. – М.: Просвещение, 2008. – 303 с.
- Гольдфарб Н.И. Физика. Задачник. 10-11 кл. : учеб. пособие. – М.: Дрофа, 2018. – 398 с.
- Физика. Углубленный курс с решениями и указаниями. ЕГЭ, олимпиады, экзамены в вуз [Электронный ресурс] / Е. А. Вишнякова [и др.]; под ред. В. А. Макарова, С. С. Чеснокова. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 419 с.
- ЕГЭ. Физика: типовые экзаменационные варианты : 30 вариантов / под ред. М. Ю. Демидовой. — М. : Изд. Национальное образование, 2020. – 400 с.
- Воронцов-Вельяминов Б.А., Страут Е.К. Астрономия. – М.: Дрофа, 2003. – 224 с.
- Чаругин В.М. Астрономия. 10-11 классы . – М.: Просвещение, 2018. – 144 с.